

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

010316808 **Image available**

WPI Acc No: 1995-218066/*199529*

XRPX Acc No: N96-347635

High-resolution reduction projection lens for forming reduced image of object, such as circuit pattern on mask - uses spectral light source having centre wavelength at about 300 nm, and refractive and diffractive optical elements, with diffractive optical element made of same vitreous material

Patent Assignee: OLYMPUS OPTICAL CO LTD (OLYU)

Inventor: NAKAGIRI K

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 7128590	A	19950519	JP 93271675	A	19931029	199529 B
US 5555479	A	19960910	US 94332121	A	19941031	199642

Priority Applications (No Type Date): JP 93271675 A 19931029

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 7128590	A		13	G02B-013/18	
US 5555479	A		19	G02B-003/08	

Abstract (Basic): JP 7128590 A

Dwg.1/8

Title Terms: HIGH; RESOLUTION; REDUCE; PROJECT; LENS; FORMING; REDUCE; IMAGE; OBJECT; CIRCUIT; PATTERN; MASK; SPECTRAL; LIGHT; SOURCE; CENTRE; WAVELENGTH; REFRACT; DIFFRACTED; OPTICAL; ELEMENT; DIFFRACTED; OPTICAL; ELEMENT; MADE; VITREOUS; MATERIAL

Derwent Class: P81; P84; U11

International Patent Class (Main): G02B-003/08; G02B-013/18

International Patent Class (Additional): G02B-003/02; G02B-005/18; G03F-007/20; H01L-021/027

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C04C2; U11-C04E1

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開 号

特開平7-128590

(43)公開日 平成7年(1995)5月19日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	序内整理番号	P I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/18		9120-2K		
G 0 3 F 7/20	5 0 5	9122-2H		
	5 2 1	9122-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 D
		7352-4M		5 2 7
審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全 13 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平5-271675

(22)出願日 平成5年(1993)10月29日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 中桐邦恵

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

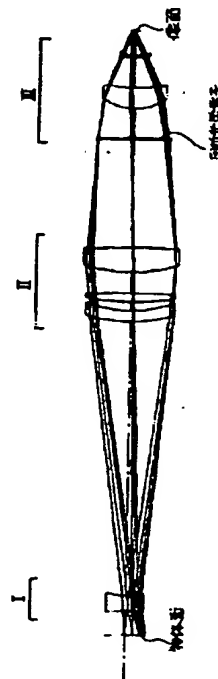
(74)代理人 弁理士 荻澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 縮小投影レンズ

(57)【要約】

【目的】 色収差の補正が可能であり、かつ、レンズ系の硝材総肉厚を薄くして透過率を向上させることができる高解像の縮小投影レンズ。

【構成】 ArFエキシマレーザ、KrFエキシマレーザ等の300nm以下の中心波長を有し、波長スペクトル半値幅が±0.5pm〜±200pmのスペクトル光源を対象とした屈折光学素子と回折光学素子を含む縮小投影レンズであって、屈折光学素子は少なくとも1面の非球面を含み、屈折光学素子及び回折光学素子がSiO₂等の全ての同一の硝材よりなり、レンズ系の瞳から回折光学素子までの距離をd、物像間距離をD、回折光学素子における最軸外主光線高をh、回折光学素子の有効半径をHとしたとき、 $0.02 < |d/D| < 0.17$ 、 $0.01 < |h/H| < 0.25$ の条件を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 300nm以下に中心波長を有するスペクトル光源を対象とした屈折光学素子と回折光学素子を含む縮小投影レンズであって、屈折光学素子は少なくとも1面の非球面を含むことを特徴とする縮小投影レンズ。

【請求項2】 対象となる光源がArFエキシマレーザであることを特徴とする請求項1記載の縮小投影レンズ。

【請求項3】 対象となる光源がKrFエキシマレーザであることを特徴とする請求項1記載の縮小投影レンズ。

$$0.02 < |d/D| < 0.17$$

$$0.01 < |h/H| < 0.25$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばIC、LSI等の集積回路を製造する装置に搭載される縮小投影レンズに関し、特に、縮小投影露光法によって回路パターンを描かれたマスクからその回路パターンをシリコンウェハ一上に転写する際に用いられる縮小投影レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に、投影レンズによる投影像の解像力は、その開口数に比例し、使用波長に反比例する。近年、集積回路の高集積化が一段と進み、それに伴って更に解像力のある投影レンズが要求されてきているが、開口数を大きくしていくと、解像力はそれに比例して良くなっていくが、焦点深度が浅くなり焦点合わせを非常に正確に行う必要が生ずる。また、回路パターンを転写するシリコンウェハの平坦度も非常に厳しい値が要求され、実用には向かなくなってしまう。そのため、近年では、開口数を大きくするよりも使用波長を短くして、焦点深度を保ちつつ解像力を上げることが行われるようになった。現在では、水銀灯による436nm、あるいは365nmの光が使用されるようになっているが、近年では、更に短波長の300nm以下の光源が用いられるようになってきた。例えば、248nmを発光スペクトルとするKrFエキシマレーザを使用する特開昭60-140310号のものや、193nmを発光スペクトルとするArFエキシマレーザを使用する特開平1-315709号、特開平5-34593号等のものがある。

【0003】また、レンズ系の色収差補正を行うため、逆分散特性を持つ回折光学素子を使用した特開平4-214516号のものがある。

【0004】

【発明の解決しようとする課題】縮小投影レンズは、高解像度と広い露光領域を確保するために、軸上収差、軸外収差の両収差がほぼ完全に補正されている必要がある。しかし、このためには、投影レンズのレンズ枚数が※

*【請求項4】 屈折光学素子及び回折光学素子が全ての同一の硝材よりなることを特徴とする請求項1記載の縮小投影レンズ。

【請求項5】 対象となる光源の波長スペクトル半値幅が $\pm 0.5\text{pm} \sim \pm 200\text{pm}$ であることを特徴とする請求項1記載の縮小投影レンズ。

【請求項6】 レンズ系の瞳から回折光学素子までの距離を d 、物像間距離を D 、回折光学素子における最軸外主光線高を h 、回折光学素子の有効半径を H としたとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項1記載の縮小投影レンズ。

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

※多くなることが避けられなくなってしまう。

【0005】例えば、単一硝材の球面レンズのみでなっているレンズ系で球面収差を補正するためには、1枚のレンズを合計で同じパワーを持つ複数枚のレンズに分割する必要がある。また、像面湾曲を補正するためには、正、負の屈折力を持つレンズを多数枚適切な位置に配置する必要があり、レンズ系の構成枚数が非常に多くなってしまう。

【0006】さらに、使用波長が300nm以下になると、使用できる硝材は、硝材の透過率の点から、実際上 SiO_2 （石英）又は CaF_2 （蛍石）に限られ、しかも、加工性等を考慮すると、現実的には SiO_2 （石英）しか使用できる硝材がない。このため、例えば、波長248nmのKrFエキシマレーザを光源とし、 SiO_2 （石英）のみをレンズ硝材として使用した縮小投影レンズでは、特開平60-140310号に示される如く、レンズ枚数が多く、硝材総肉厚が厚くなってしまう。したがって、更に短波長の光源、例えば193.5nmのArFエキシマレーザを用いると、 SiO_2 （石英）であっても透過率の低下が現れ、そのため、レンズの露光光熱吸収による倍率変動やベストフォーカス変動、露光量不足による低スループット等の問題があった。

【0007】この透過率の低下の問題に対処するため、投影レンズに非球面を採用し、レンズの総肉厚を薄くする試みが特開平5-34593号でなされている。この場合、レンズ系は単一硝材で構成されているため、レンズ系による色収差補正を行うことができない。このため、光源が発する光の波長スペクトルの半値幅を極めて狭くしなければ、投影レンズの解像度が低下するという問題があった。例えば特開平5-34593号では、 $\pm 0.5\text{pm}$ 以下に波長半値幅を抑えないと、性能が低下し、実用的に使用不可能となってしまう。しかし、例えばKrFエキシマレーザやArFエキシマレーザの場合、共振器内にエタロンやグレーティング等の波長分散素子を挿入する方法がスペクトル半値幅を狭めるために

一般にとられる方法であるが、 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ に波長スペクトルを狭めた上で安定なレーザ発振を行わせることは、現実的に極めて困難である。

【0008】このような光源にかかる負担を低減するために、色収差補正光学素子として、投影レンズに何枚かの CaF_2 （蛍石）を配置し、投影レンズで色消しを行う方法も考えられるが、 CaF_2 （蛍石）は材質が柔らかく、加工し難いという問題があるため、実用上のレンズ材料としては使用できない。そこで、特開平4-214516号では、逆分散特性の回折光学素子を使用して色収差補正を行っているが、レンズ総肉厚が厚いため、上述のような問題点を回避できていない。

【0009】本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、色収差の補正が可能であり、かつ、レンズ系の硝材総肉厚を薄くして透過率を向上させることができる高解像の縮小投影レンズを提供することである。

$$0.02 < |d/D| < 0.17 \quad \dots (3)$$

$$0.01 < |h/H| < 0.25 \quad \dots (4)$$

【0014】

【作用】以下、本発明において上記のような構成をとる理由とその作用について説明する。

【0015】このような構成をとることによって、屈折光学素子に非球面が含まれることにより、また、回折光学素子も非球面として扱えることにより、レンズ設計の自由度が大幅に増すことになる。したがって、レンズ枚数を増やすことなく、レンズ総肉厚を薄く保ったままで実用的レンズの実現が可能になる。

【0016】回折光学素子は通常の屈折光学素子とは逆の波長分散性を有し、その分散率が非常に大きいので、硝材が SiO_2 （石英）一種類に限られた場合においても、単に1枚の回折光学素子をレンズ系に配置しただけでも、充分な色収差補正の効果が得られる。回折光学素子は、色収差補正効果を発揮するのみでなく、その形状に非球面作用を持たせることが容易なため、単色収差補正効果も得ることが可能であるが、投影レンズに配置する非球面を回折光学素子のみに限ってしまうと、レンズ設計の自由度が減り、その結果、非球面回折光学素子が少なくとも2枚必要になってしまう。しかし、回折光学素子には回折効率の問題があり、投影レンズに複数の回折光学素子を配置すると、光の利用効率が低下する可能性があり、ひいては露光量不足により低いスループット等の問題が起こる可能性がある。また、回折光学素子は、配置する箇所によっては、その多大な逆分散性のため、色コマ収差が発生することもあり、レンズ系に配置する箇所が束縛される可能性があり、非球面を必要とする箇所に非球面回折光学素子を配置できないこともあり得る。したがって、屈折光学素子に非球面を持たせることで、光の利用効率低下を防ぎ、かつ、非球面を配置する箇所の自由度を増すことによって、解像度の高い投影※50

*【0010】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、本発明の縮小投影レンズは、 300nm 以下に中心波長を有するスペクトル光源を対象とした屈折光学素子と回折光学素子を含む縮小投影レンズであって、屈折光学素子は少なくとも1面の非球面を含むことを特徴とするものである。

【0011】この場合、対象となる光源は、例えば、ArFエキシマレーザ、KrFエキシマレーザである。

10 【0012】また、屈折光学素子及び回折光学素子が全ての同一の硝材よりなることが望ましい。また、対象となる光源の波長スペクトル半値幅が $\pm 0.5 \mu\text{m} \sim \pm 200 \mu\text{m}$ であることが望ましい。

【0013】さらに、レンズ系の瞳から回折光学素子までの距離を d 、物像間距離を D 、回折光学素子における最軸外主光線高を h 、回折光学素子の有効半径を H としたとき、以下の条件を満足することが望ましい。

$$0.02 < |d/D| < 0.17 \quad \dots (3)$$

$$0.01 < |h/H| < 0.25 \quad \dots (4)$$

20 ※レンズの設計が可能になる。

【0017】以下、本発明の好ましい一つの利用形態の作用について詳しく説明する。本発明のレンズは、物体に近い箇所に配置された負の屈折率を持つ屈折光学素子に非球面を施すことによって、レンズ系全体の歪曲収差補正と像面湾曲補正をコントロールしやすくしている。

【0018】物体に近い箇所に配置されたレンズ群では、軸外主光線が光軸から離れた周縁を通過するため、光軸付近を通過する軸上マージナル光線と比較すると、より大きく屈折作用を受けることになり、また同時に、子午面と球欠面を通過する軸外主光線が受ける屈折作用もかなり異なってくる。このため、上記の箇所のレンズ群では、歪曲収差と像面湾曲が発生しやすい。

【0019】したがって、上記の箇所のレンズ群で硝材総肉厚を薄くするためにレンズの構成枚数を単に減らすと、負の歪曲収差が大きくなり、これを補正する正の歪曲収差が発生する面がなくなってしまう。また、正の像面湾曲も大きくなり、これを補正する負の像面湾曲が発生する面もなくなってしまう。

【0020】上記正の歪曲収差と負の像面湾曲を発生させるために、上記の箇所のレンズ群に配置されたレンズに非球面を配置し、この非球面で正の歪曲収差と負の像面湾曲を発生させることが、レンズ系全体の歪曲収差と像面湾曲を良好に補正するために必要となる。

【0021】物体に近いレンズ群に配置された負のレンズに光軸から周縁に行くに従って屈折力が弱くなるような非球面を施すことによって、軸外主光線が受ける負の屈折作用が過大にならないようコントロールし、非球面によって多大の正の歪曲収差を発生させ、上記の箇所のレンズ群における負の歪曲収差発生量を減少させている。また、上記非球面の作用によって多大の負の像面湾

曲を発生させ、上記の箇所のレンズ群における正の像面湾曲発生量を減少させている。

【0022】したがって、歪曲収差と像面湾曲が発生しやすい投影レンズの物体に近いレンズ群に多数の正・負のパワーを持つレンズを組み合わせて配置し、歪曲収差と像面湾曲を補正するのではなく、上記の箇所のレンズ群に少なくとも1枚の非球面を施すことによって、レンズ枚数の削減と上記両収差の補正が同時に可能になるのである。

【0023】更に好ましくは、像に近いレンズ群でも軸外主光線高が高くなってレンズの周縁を通過し、歪曲収差と像面湾曲が発生しやすくなるので、非球面を配置することで上記2収差の発生量を抑え、レンズ系全体の性能を更に向上させることが可能となる。

【0024】更に好ましくは、軸上マージナル光線と軸外マージナル光線の両光線高が高い箇所の屈折光学素子に非球面を施すことによって、球面収差とコマ収差の補正が可能となり、レンズ系全体の性能を更に向上させることが可能になる。

【0025】球面レンズ系で多大に発生する負の球面収差を打ち消すために、軸上マージナル光線と軸外マージナル光線の両光線高が高い箇所のレンズに、レンズ周辺になるに従って正の屈折率が弱くなるような球面収差補正用非球面を1面配置すれば、更に硝材総肉厚の薄い投*

$$\sum h_i^2 / f_i v_i = 0$$

しかし、単一の硝材からなる実像の結像レンズ系では、上記の(1)式は必ず正の値を持つことになり、完全には色収差補正は行えない。ここで、 h_0 を回折光学素子におけるマージナル光線高、 f_0 を回折光学素子の焦点距離、 v_0 を回折光学素子のアッペ数とし、焦点距離が※30

$$\sum h_i^2 / f_i v_i + \sum h_0^2 / f_0 v_0 = 0$$

上記の式(2)から、回折光学素子は、レンズ系において多大な色収差補正能力を持っていることが分かる。

【0029】本発明のレンズは、レンズ系の瞳付近に逆分散効果を持つ回折光学素子を配置している。なお、瞳位置は、最軸外主光線が光軸を横切る位置で定義される。本発明は、比較的物体高の高い広い露光領域を必要とし、かつ、回折限界付近まで各収差が良好に補正される必要がある。このためには、軸上の色収差の補正と同等に、軸外の色コマ収差、倍率の色収差等も良好に補正しなければならない。

【0030】したがって、本発明の場合には、レンズ系の瞳位置に一致させて回折光学素子を配置することは、必ずしも倍率の色収差に対する色補正効果を得ることができない。つまり、軸上の色収差を補正しつつ倍率の色*

$$0.02 < |d/D| < 0.17$$

$$0.01 < |h/H| < 0.25$$

上記両条件式の上限を越えると、倍率の色収差と軸上の色収差補正は充分にできるが、色コマ収差の補正が不可能になる。一方、上記両条件式の下限を越えると、色コマ

*影レンズが実現が可能となる。もちろん、回折光学素子の非球面作用で球面収差の補正は可能であるが、この場合、回折光学素子の非球面作用がコマ収差に悪影響を与えないように、回折光学素子はレンズ系の瞳位置近傍に配置されることが望ましく、この位置では、回折光学素子の逆分散作用で倍率の色収差を完全に補正することが難しい場合がある。このような状況の際には、レンズ系の瞳位置近傍に位置する屈折光学素子に球面収差補正用の非球面を施すことが好ましい。

【0026】更に好ましくは、非球面回折光学素子をレンズ系の瞳から多少離れた箇所に配置し、その逆分散作用で倍率の色収差を、また、その非球面効果でコマ収差を補正した場合にも発生する完全補正がしきれないコマ収差や高次のコマ収差の発生を抑えるために、上記球面収差補正用の非球面屈折光学素子以外にも、コマ収差補正用の非球面屈折光学素子を配置すると、レンズ系全体の性能を更に向上させることが可能になる。

【0027】次に、回折光学素子について説明する。一般に、レンズ系の色収差を補正するためには、薄肉近似において、 h_i を各レンズにおけるマージナル光線高、 f_i を各レンズの焦点距離、 v_i を各レンズのアッペ数とした場合、次の条件式(1)の条件を満足しなければならない。

【0028】

$$\dots (1)$$

※適当な正の値を持つ回折光学素子を用いると、そのアッペ数が負の値を持つため、下記の式(2)に表すように、回折光学素子に起因する項が屈折系のレンズに起因する項を打ち消して、色消し条件の式を満足することができる。

$$\dots (2)$$

★収差、色コマ収差を補正するためには、レンズ系の瞳位置から少しずれた位置に回折光学素子を配置することが重要となる。しかし、特開平2-410271号に示されるように、余りに回折光学素子とレンズ系の瞳位置が離れると、色コマ収差補正と倍率の色収差補正と軸上の色収差補正のバランスが崩れ、光源の広い半値幅で良好の色収差補正を行うことができなくなってしまう。

【0031】上記の良好な軸上の色収差、倍率の色収差、色コマ収差のバランスをとるためには、レンズ系の瞳から回折光学素子までの距離を d 、物像間距離を D 、回折光学素子における最軸外主光線高を h 、回折光学素子の有効半径を H としたとき、下記の条件式を両方満足しなければならない。

【0032】

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

☆マ収差と軸上色収差の補正は充分可能であるが、倍率の色収差補正が不可能となる。レンズ全系が単一硝材で構成される本発明のような投影レンズ系では、他のレンズ

で色コマ収差や倍率の色収差の補正をすることは不可能になるため、上記両条件式を満足するように回折光学素子をレンズ系に配置することが非常に重要である。

【0033】

【実施例】以下、本発明の縮小投影レンズの実施例1～4について説明する。実施例1～4のレンズデータは後記するが、これらの実施例のレンズ断面図をそれぞれ図1～図4に示し、実施例1～4の横収差図をそれぞれ図5～図8に示す。各収差図において、Yは相対像高を表す。

【0034】実施例1と2では、第1群Iは両凹負レンズ1枚から、第2群IIは負メネスカスレンズ1枚と両凸正レンズ2枚から、第3群IIIは正パワーを持ち負のアップ数を有する回折光学素子1枚と正メネスカスレンズ2枚からなる。実施例3と4においては、第1群Iは、実施例3では、両凹負レンズ1枚とそれを挟む両凸正レンズ2枚から、実施例4では、正メネスカスレンズ1枚と両凹負レンズ1枚と両凸正レンズ1枚から、第2群IIは正パワーを持ち負のアップ数を有する回折光学素子1枚とそれを挟むように凹面を向け合った負メネスカスレンズ2枚から、第3群IIIは両凸正レンズ1枚と正メネスカスレンズ1枚からなる。

【0035】非球面については、実施例1と2においては、第1群I、第2群IIのそれぞれの最終面と、第3群IIIの回折光学素子と像側の正メネスカスレンズの物体側の面の合計4面に用いている。実施例3と4においては、第1群Iのそれぞれのレンズの物体側の面と、第2群IIの物体側のレンズの像側の面と回折光学素子と、第3群IIIの最前面と最終面の合計7面に用いている。

【0036】本発明において、軸上収差の補正と共に軸外収差である歪曲収差と像面湾曲とコマ収差等もほぼ完全に補正される必要があること、また、軸上の色収差のみでなく倍率の色収差と色コマ収差も良好に補正される必要があることはすでに述べてきた。そこで、本発明において上記の軸外収差をどのように補正したのかを、実施例1～4を用いて説明する。

【0037】まず、実施例1と2について説明する。回折光学素子は、そのピッチが小さいほどパワーが強く、より色消しの効果が向上することはよく知られているが、作製上の問題からピッチが1 μ mより小さくなることは望ましくない。これら実施例は、回折光学素子の最小ピッチが1 μ m以上になるように制限したものである。実施例1は、レンズ系の色消し可能な波長半値幅が0.5 μ mで、回折光学素子の最小ピッチが2 μ mの場合で、実施例2は、レンズ系の色消し可能な波長半値幅が10 μ mで、回折光学素子の最小ピッチが1 μ mの場合である。

【0038】実施例1と2において、第1群Iに配置された両凹負レンズは強いパワーを持っており、上記レンズによってレンズの周縁を通過する軸外主光線は、近軸

付近と比較すると多大な屈折作用を受け、歪曲収差と像面湾曲が上記レンズによって多大に発生する。そこで、上記レンズ周縁に行くに従って屈折力が弱くなるような非球面を施すことによって、上記諸収差の発生量を抑制し、レンズ系全体によって発生する上記諸収差の発生量をコントロールしやすくしている。

【0039】また、最も像側のレンズで軸外主光線はまた光軸から離れた箇所を通過するため、第3群IIIの最終レンズに非球面を施すことによって歪曲収差と像面湾曲の収差補正を更に向上させている。

【0040】さらに、コマ収差と球面収差を良好に補正するために、第2群IIの第6面（最終面）と第3群IIIの回折光学素子に非球面を用いている。

【0041】また、色収差を補正するために、前記式(3)と(4)の条件を満たすように、回折光学素子をレンズ系内に配している。

【0042】次に、実施例3と4の説明をする。実施例3と4が実施例1と2と比較して異なる点は、実施例1と2が射出側テレセントリックレンズ系であるのに対して、実施例3と4は両側テレセントリックレンズ系であることである。実施例3は、レンズ系の色消し可能な波長半値幅が0.5 μ mで、回折光学素子の最小ピッチが4 μ mの場合で、実施例4は、レンズ系の色消し可能な波長半値幅が200 μ mで回折光学素子の最小ピッチが1 μ mの場合である。

【0043】実施例3と4において、歪曲収差と像面湾曲の補正に関しては、実施例1と2と同様に、第1群Iのレンズ系で行っている。実施例1と2と比較して更に好ましい点は、第1群Iの両凹負レンズを正レンズ2枚で挟み、入射側がテレセントリックになる構成をとっていることである。これは、第1群Iの合成焦点距離を変えることなく、第1群Iを構成するレンズのパワー配分や配置を自由にコントロールすることによって、両凹負レンズによって発生する歪曲収差と像面湾曲を正レンズ2枚で打ち消すようにしたものである。そのため、実施例1と2とは異なって、実施例3と4では、両凹負レンズによって発生する歪曲収差と像面湾曲を抑制するというのみでなく、第1群Iではほぼ完全に上記諸収差を取り除き、第1群I以後のレンズ群で他の軸外諸収差を補正するようになっている。

【0044】更に好ましくは、第1群Iの正レンズ2枚に非球面を施すことによって、これらのレンズで発生する歪曲収差と像面湾曲の発生量を微妙にコントロールし、両凹負レンズによって発生する上記の諸収差の発生量を相殺することが可能になる。

【0045】また、最も像側のレンズで軸外主光線はまた光軸から離れた箇所を通過するため、実施例1と2と同様、第3群IIIの最終面に非球面を施すことによって、歪曲収差と像面湾曲の収差補正を更に向上させている。

10

20

30

40

50

【0046】さらに、コマ収差と球面収差を良好に補正するために、実施例1と2と同様に、第2群IIと第3群IIIを構成するレンズにも非球面を施している。実施例3と4においては、第2群IIの第2面と回折光学素子、第3群IIIの第1面に非球面を用いている。

【0047】また、色収差を補正するために、実施例1と2と同様に、前記式(3)と(4)の条件を満たすように、回折光学素子をレンズ系内に配置している。

【0048】実施例1と2と異なって、更に好ましい点は、回折光学素子で発生する色コマ収差を打ち消すために、第3群IIIに凸パワーの強いレンズを配置し、色消し可能な光源の波長半値幅を実施例2よりも更に広げたことである。回折光学素子以外の屈折光学素子は全て単一の硝材からなっているため、物体の最軸外の一点から出た193.5nmを中心としたある波長幅を持った光は、屈折光学素子を通り回折光学素子に入射する時には、屈折光学素子による分散作用によって一点からの光にはならない。このため、各色の軸外主光線が回折光学素子に入射する光軸からの高さが異なり、各色毎に異なったコマ収差が発生する。これが回折光学素子によって発生する色コマ収差である。色コマ収差は、前記の条件式(3)と(4)を満たすように回折光学素子をレンズ*

$$0.001 < |f_{def} / f_{ref}| / D < 0.008 \quad \dots (5)$$

$$0.01 < |h_{def} - h_{ref}| / H' < 0.1 \quad \dots (6)$$

なお、実施例3、4において、上記の色コマ収差を打ち消すことを目的とした屈折光学素子は、第3群IIIの物体側の両凸正レンズである。

【0051】次に、これら実施例1～4のレンズデータを示すが、記号は、 r_1 、 r_2 ・・・は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 ・・・は各レンズ面間の間隔、 n_1 、 n_2 ・・・は各レンズの193.5nmの屈折率、 v_1 、 v_2 ・・・は各レンズのアッペ数、WDOは物体側作動距離、WDは像側作動距離、 f はレンズ系の焦点距離、ENPは入射瞳位置(入射瞳位置は物体面からの距離とする。)、 d/D は条件式(3)の値、 h/H は条件式(4)の値、 $|f_{def} / f_{ref}| / D$ は条件式(5)の値、 $|h_{def} - h_{ref}| / H'$ は条件式(6)の値である。

【0052】また、非球面形状は、光軸方面をx、光軸に直交する方向をyとした時、次の式で表される。

$$x = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (y^2 / r^2)\}^{1/2}] + a_4 y^4 + a_6 y^6 + a_8 y^8 + a_{10} y^{10}$$

ただし、 r は近軸曲率半径、 a_4 、 a_6 、 a_8 、 a_{10} は※

$$\sin \theta - \sin \theta' = m \lambda / d$$

ただし、 m は回折の次数、 λ は光線の波長、 d はフレネルピッチである。

【0055】一方、屈折光学系の屈折率を n 、光線が通過する部分の厚さを z 、また、光軸からの距離を h とす★

$$\sin \theta - \sin \theta' = (n-1) dz / dh \quad \dots \textcircled{2}$$

*系内に配置すれば、その発生量を抑えることが可能だが、光源の波長半値幅が広がれば色コマ収差の発生量が増え、結果的にはレンズ系の解像度が低下してしまう。光源の波長半値幅を広げたとき、回折光学素子で発生した色コマ収差と符号が逆になるような色コマ収差を屈折光学素子の何れかで発生させてやれば、全体の色コマ収差発生量を少なくすることができる。これに成功したのが、本発明の実施例4である。

【0049】色コマ収差発生量を抑え、光源の広い波長半値幅に対しても高解像度のレンズ系を得るためには、条件式(3)と(4)に加え、以下の条件を満たすような屈折光学素子をレンズ系内に配置することが好ましい。

【0050】 f_{def} を回折光学素子の焦点距離、 f_{ref} を色コマ収差を打ち消すことを目的とした屈折光学素子の焦点距離、 h_{def} を最軸外主光線が回折光学素子に入射する光軸からの高さ、 h_{ref} を最軸外主光線が色コマ収差を打ち消すことを目的とした屈折光学素子に入射する光軸からの高さ、 H' をレンズ系における最大値の有効半径、 D を物像間距離としたとき、下記の式(5)と(6)を両方満足することが好ましい。

※非球面係数である。

【0053】なお、各実施例の使用波長は193.5nm、倍率は1/5、開口数NAは0.45、物像間距離OI(=D)は、実施例1と実施例2では1250mm、実施例3と4では1000mm、露光領域は実施例1と2では12.5×12.5mm、実施例3と4では10mm×10mmである。また、各実施例では、レンズ系の硝材は全て溶解石英SiO₂からなり、回折光学素子は厚さ3mmの溶解石英のプレートの後側に回折面を持つようにして、ウルトラ・ハイ・インデックス法にて設計を行った。

【0054】ここで、ウルトラ・ハイ・インデックス法を簡単に説明しておく。フレネルゾーンプレートを構成する回折光学素子は屈折率が極めて大きな光学材料からなる屈折光学系に置き換えることができる。このことは、W.C.Sweattの論文(J.Opt.Soc.Am.Vol.69, No.3, March 1979)に示されており、以下に簡単に示す。光線の入射角を θ 、光線の出射角を θ' とすると、回折光学素子における光線の屈折は、回折格子における回折の式がそのまま成り立つので、下式①が成り立つ。

$$\dots \textcircled{1}$$

★る時、 $n \rightarrow \infty$ 、 $z \rightarrow 0$ であれば、スネルの式から下式②を導ける。

【0056】

以上の2つの式①、②を見比べると、屈折率 n が充分大* *きい場合には、

$$m\lambda/d = (n-1)dz/dh$$

が成り立つことが分かり、この式③を使って回折光学素子※【0057】ここで、 $K=m/(d(dz/dh))$ と子は屈折光学系への置き換えができるのである。 ※ おくと、

$$(n-1) = K\lambda$$

となる。式④は、基準波長 λ_0 以外の波長でも成立しな ★ができる。

けらばならないので、式④を次のように書き換えること★

$$n(\lambda) = 1 + K\lambda$$

この式⑤から、回折光学素子のアップベ数 ν_d を求めてみ☆ ☆る。

$$\begin{aligned}\nu_d &= (n_d - 1) / (n_f - n_c) \\ &= [(1 + K\lambda_d) - 1] / [(1 + K\lambda_f) - (1 + K\lambda_c)] \\ &= K\lambda_d / [K(\lambda_f - \lambda_c)] \\ &= \lambda_d / (\lambda_f - \lambda_c) = -3.45\end{aligned}$$

なお、各実施例では回折光学素子の置き換えを行うた ◆を1001と置いた。

め、仮想硝材の中心波長193.5nmにおける屈折率◆ 【0058】実施例1

$r_1 = -759.090$	$d_1 = 31.284$	$n_1 = 1.56$	$v_1 = 67.8$
$r_2 = 90.644$ (非球面)	$d_2 = 573.416$		
$r_3 = 334.912$	$d_3 = 22.128$	$n_2 = 1.56$	$v_2 = 67.8$
$r_4 = 250.731$	$d_4 = 18.776$		
$r_5 = 590.724$	$d_5 = 16.643$	$n_3 = 1.56$	$v_3 = 67.8$
$r_6 = -5403.674$	$d_6 = 46.977$		
$r_7 = 361.819$	$d_7 = 48.137$	$n_4 = 1.56$	$v_4 = 67.8$
$r_8 = -2260.114$ (非球面)	$d_8 = 220.987$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 3.000$	$n_5 = 1.56$	$v_5 = 67.8$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 0.000$		
$r_{11} = 762797.553$ (非球面)	$d_{11} = 0.000$	$n_6 = 1001$	$v_6 = -$

3.45
(回折光学素子)

$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 60.142$		
$r_{13} = 106.122$	$d_{13} = 43.321$	$n_7 = 1.56$	$v_7 = 67.8$
$r_{14} = 294.334$	$d_{14} = 59.784$		
$r_{15} = 90.518$ (非球面)	$d_{15} = 6.440$	$n_8 = 1.56$	$v_8 = 67.8$
$r_{16} = 114.588$			

非球面係数

第2面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.28630 \times 10^{-6} \\ a_6 &= -0.47732 \times 10^{-11} \\ a_8 &= -0.12345 \times 10^{-15} \\ a_{10} &= -0.46956 \times 10^{-18}\end{aligned}$$

第8面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.35086 \times 10^{-8} \\ a_6 &= -0.62746 \times 10^{-13} \\ a_8 &= -0.97491 \times 10^{-19} \\ a_{10} &= -0.19386 \times 10^{-22}\end{aligned}$$

第11面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.16096 \times 10^{-11} \\ a_6 &= -0.77723 \times 10^{-17} \\ a_8 &= 0.44694 \times 10^{-21}\end{aligned}$$

$$* a_{10} = -0.28782 \times 10^{-25}$$

第15面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.22447 \times 10^{-6} \\ a_6 &= -0.67562 \times 10^{-10} \\ a_8 &= -0.13527 \times 10^{-13} \\ a_{10} &= -0.15838 \times 10^{-17}\end{aligned}$$

$$40 \text{ WDO} = 50.000$$

$$\text{WD} = 48.967$$

$$f = 38.090$$

$$\text{ENP} = 192.513$$

$$d/D = 0.113$$

$$h/H = 0.088$$

【0059】実施例2

*

$r_1 = -2848.267$	$d_1 = 8.308$	$n_1 = 1.56$	$v_1 = 67.8$
$r_2 = 100.602$ (非球面)	$d_2 = 552.783$		

(8)

特開平7-128590

1 3

$r_3 = 332.456$
 $r_4 = 251.110$
 $r_5 = 585.120$
 $r_6 = -5011.765$
 $r_7 = 420.524$
 $r_8 = -9391.364$ (非球面)
 $r_9 = \infty$
 $r_{10} = \infty$
 $r_{11} = 435960.237$ (非球面)
 (回折光学素子)
 $r_{12} = \infty$
 $r_{13} = 110.331$
 $r_{14} = 284.071$
 $r_{15} = 109.141$ (非球面)
 $r_{16} = 127.709$

非球面係数

第2面

$a_4 = -0.24414 \times 10^{-6}$
 $a_6 = 0.13222 \times 10^{-11}$
 $a_8 = -0.80223 \times 10^{-16}$
 $a_{10} = -0.19471 \times 10^{-19}$

第8面

$a_4 = 0.35548 \times 10^{-8}$
 $a_6 = -0.53285 \times 10^{-13}$
 $a_8 = -0.44123 \times 10^{-18}$
 $a_{10} = -0.10159 \times 10^{-22}$

第11面

$a_4 = -0.24666 \times 10^{-11}$
 $a_6 = -0.11767 \times 10^{-16}$
 $a_8 = -0.34772 \times 10^{-21}$

$r_1 = 252.531$ (非球面)
 $r_2 = -237.917$
 $r_3 = -76.336$ (非球面)
 $r_4 = 83.791$
 $r_5 = 688.212$ (非球面)
 $r_6 = -127.932$
 $r_7 = 111.110$
 $r_8 = 95.981$ (非球面)
 $r_9 = \infty$
 $r_{10} = \infty$
 $r_{11} = 1432200.000$ (非球面)
 (回折光学素子)
 $r_{12} = \infty$
 $r_{13} = -130.544$
 $r_{14} = -154.420$
 $r_{15} = 203.863$ (非球面)
 $r_{16} = -278.866$
 $r_{17} = 66.125$
 $r_{18} = 75.715$ (非球面)

非球面係数

1 4

$d_3 = 13.529$ $n_2 = 1.56$ $v_2 = 67.8$
 $d_4 = 18.980$
 $d_5 = 11.355$ $n_3 = 1.56$ $v_3 = 67.8$
 $d_6 = 103.808$
 $d_7 = 14.548$ $n_4 = 1.56$ $v_4 = 67.8$
 $d_8 = 247.979$
 $d_9 = 3.000$ $n_5 = 1.56$ $v_5 = 67.8$
 $d_{10} = 0.000$
 $d_{11} = 0.000$ $n_6 = 1001$ $v_6 = -3.45$

 $d_{12} = 68.860$
 $d_{13} = 51.696$ $n_7 = 1.56$ $v_7 = 67.8$
 $d_{14} = 77.589$
 $d_{15} = 17.564$ $n_8 = 1.56$ $v_8 = 67.8$

* $a_{10} = -0.11103 \times 10^{-25}$

第15面

$a_4 = -0.41961 \times 10^{-6}$
 $a_6 = -0.18985 \times 10^{-9}$
 20 $a_8 = -0.45634 \times 10^{-13}$
 $a_{10} = 0.49921 \times 10^{-17}$

WDO = 50.000

WD = 10.000

f = 40.172

ENP = 205.193

d/D = 0.142

h/H = 0.115

【0060】实施例3

* 30

$d_1 = 13.959$ $n_1 = 1.56$ $v_1 = 67.8$
 $d_2 = 122.828$
 $d_3 = 5.000$ $n_2 = 1.56$ $v_2 = 67.8$
 $d_4 = 90.783$
 $d_5 = 23.544$ $n_3 = 1.56$ $v_3 = 67.8$
 $d_6 = 102.939$
 $d_7 = 5.011$ $n_4 = 1.56$ $v_4 = 67.8$
 $d_8 = 225.849$
 $d_9 = 3.000$ $n_5 = 1.56$ $v_5 = 67.8$
 $d_{10} = 0.000$
 $d_{11} = 0.000$ $n_6 = 1001$ $v_6 = -3.45$

 $d_{12} = 30.346$
 $d_{13} = 9.044$ $n_7 = 1.56$ $v_7 = 67.8$
 $d_{14} = 12.972$
 $d_{15} = 32.427$ $n_8 = 1.56$ $v_8 = 67.8$
 $d_{16} = 110.103$
 $d_{17} = 55.723$ $n_9 = 1.56$ $v_9 = 67.8$

※50※第1面

(9)

特開平7-128590

15

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.10995 \times 10^{-7} \\a_6 &= -0.87952 \times 10^{-12} \\a_8 &= -0.61759 \times 10^{-16} \\a_{10} &= -0.29317 \times 10^{-20}\end{aligned}$$

第3面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.38712 \times 10^{-6} \\a_6 &= 0.32897 \times 10^{-10} \\a_8 &= 0.77965 \times 10^{-14} \\a_{10} &= 0.24614 \times 10^{-17}\end{aligned}$$

第5面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.38411 \times 10^{-8} \\a_6 &= -0.54083 \times 10^{-12} \\a_8 &= 0.20590 \times 10^{-16} \\a_{10} &= -0.20963 \times 10^{-20}\end{aligned}$$

第8面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.23628 \times 10^{-7} \\a_6 &= -0.30556 \times 10^{-12} \\a_8 &= -0.15890 \times 10^{-16} \\a_{10} &= -0.68784 \times 10^{-20}\end{aligned}$$

第11面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.18669 \times 10^{-12} \\a_6 &= 0.71468 \times 10^{-17}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r_1 &= -451.787 \text{ (非球面)} \\r_2 &= -95.373 \\r_3 &= -72.784 \text{ (非球面)} \\r_4 &= 96.857 \\r_5 &= 872.263 \text{ (非球面)} \\r_6 &= -153.964 \\r_7 &= 140.484 \\r_8 &= 120.230 \text{ (非球面)} \\r_9 &= \infty \\r_{10} &= \infty \\r_{11} &= 431766.784 \text{ (非球面)} \\&\text{(回折光学素子)} \\r_{12} &= \infty \\r_{13} &= -174.510 \\r_{14} &= -172.623 \\r_{15} &= 168.097 \text{ (非球面)} \\r_{16} &= -858.048 \\r_{17} &= 136.937 \\r_{18} &= 197.925 \text{ (非球面)}\end{aligned}$$

非球面係數

第1面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.35676 \times 10^{-7} \\a_6 &= -0.48365 \times 10^{-11} \\a_8 &= 0.11268 \times 10^{-14} \\a_{10} &= -0.39365 \times 10^{-19}\end{aligned}$$

第3面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.61584 \times 10^{-6} \\a_6 &= 0.82779 \times 10^{-10}\end{aligned}$$

16

$$\begin{aligned}* a_8 &= -0.10930 \times 10^{-20} \\a_{10} &= 0.29630 \times 10^{-24}\end{aligned}$$

第15面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.22026 \times 10^{-7} \\a_6 &= -0.63499 \times 10^{-12} \\a_8 &= -0.11270 \times 10^{-16} \\a_{10} &= 0.32465 \times 10^{-21}\end{aligned}$$

第18面

$$\begin{aligned}a_4 &= 0.87882 \times 10^{-6} \\10 \quad a_6 &= 0.16543 \times 10^{-9} \\a_8 &= 0.85945 \times 10^{-13} \\a_{10} &= -0.29573 \times 10^{-16}\end{aligned}$$

$$\text{WDO} = 117.371$$

$$\text{WD} = 39.100$$

$$f = \infty$$

$$\text{ENP} = \infty$$

$$d/D = 0.050$$

$$h/H = 0.035$$

$$|f_{\text{def}}/f_{\text{ref}}|/D = 0.0017$$

$$20 \quad |h_{\text{def}} - h_{\text{ref}}|/H' = 0.0270$$

* 【0061】実施例4

$d_1 = 29.268$	$n_1 = 1.56$	$v_1 = 67.8$
$d_2 = 98.552$		
$d_3 = 5.000$	$n_2 = 1.56$	$v_2 = 67.8$
$d_4 = 105.916$		
$d_5 = 13.387$	$n_3 = 1.56$	$v_3 = 67.8$
$d_6 = 258.764$		
$d_7 = 5.000$	$n_4 = 1.56$	$v_4 = 67.8$
$d_8 = 171.249$		
$d_9 = 3.000$	$n_5 = 1.56$	$v_5 = 67.8$
$d_{10} = 0.000$		
$d_{11} = 0.000$	$n_6 = 1001$	$v_6 = -3.45$
$d_{12} = 47.410$		
$d_{13} = 5.000$	$n_7 = 1.56$	$v_7 = 67.8$
$d_{14} = 2.449$		
$d_{15} = 32.344$	$n_8 = 1.56$	$v_8 = 67.8$
$d_{16} = 62.950$		
$d_{17} = 70.000$	$n_9 = 1.56$	$v_9 = 67.8$

$$* a_8 = -0.58285 \times 10^{-14}$$

$$a_{10} = 0.19177 \times 10^{-17}$$

第5面

$$\begin{aligned}a_4 &= -0.88847 \times 10^{-8} \\a_6 &= -0.32501 \times 10^{-12} \\a_8 &= 0.91594 \times 10^{-16} \\a_{10} &= -0.44569 \times 10^{-20}\end{aligned}$$

第8面

$$* 50 \quad a_4 = 0.32035 \times 10^{-7}$$

17

$$a_6 = 0.16595 \times 10^{-12}$$

$$a_8 = 0.26513 \times 10^{-16}$$

$$a_{10} = 0.32600 \times 10^{-20}$$

第11面

$$a_4 = 0.44660 \times 10^{-11}$$

$$a_6 = -0.19930 \times 10^{-15}$$

$$a_8 = 0.21867 \times 10^{-19}$$

$$a_{10} = -0.13646 \times 10^{-23}$$

第15面

$$a_4 = -0.21049 \times 10^{-7}$$

$$a_6 = -0.89312 \times 10^{-13}$$

$$a_8 = -0.47612 \times 10^{-16}$$

$$a_{10} = -0.84793 \times 10^{-21}$$

第18面

$$a_4 = 0.85152 \times 10^{-7}$$

$$a_6 = 0.24261 \times 10^{-10}$$

$$a_8 = -0.13124 \times 10^{-13}$$

$$a_{10} = -0.52618 \times 10^{-17}$$

$$WDO = 50.000WD = 39.710$$

$$f = \infty$$

$$ENP = \infty$$

$$d/D = 0.013$$

$$h/H = 0.087$$

$$|f_{def}/f_{ref}|/D = 0.0066$$

$$|h_{def}-h_{ref}|/H' = 0.0337$$

【0062】以上の各実施例では、光源を所定のスペクトル半値幅を有する中心波長193.5nmのスペクトル光源（ArFエキシマレーザ）を用いるものとして説明したが、言うまでもなく、中心波長が約248nmのKrFエキシマレーザも適用可能である。KrFエキシマレーザの場合、本発明を用いなくとも、実用に供せられる投影レンズは実現できるが、本発明を用いることにより、更なる高性能化あるいはレンズ枚数の削減が可能

18

となり、ひいては投影レンズの小型化、コスト低減に大きな効果を発揮することができる。さらに、光源としては、エキシマレーザだけではなく、発振波長1.06μmのYAGレーザの第4～6高調波や低圧水銀ランプの持つ中心波長約254nmのスペクトルを用いることも可能である。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、300nm以下に中心波長を有するスペクトル光源に対して、レンズを単一硝材で構成した場合にも、色収差の補正が可能であり、かつ、レンズ系の硝材総肉厚を薄くして透過率を向上させることができる、高解像の縮小投影レンズを提供することが可能になる。なお、この効果は、投影レンズに回折光学素子と非球面屈折光学素子を同時に用いることによって始めて可能になるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の縮小投影レンズの実施例1のレンズ断面図である。

20 【図2】本発明の縮小投影レンズの実施例2のレンズ断面図である。

【図3】本発明の縮小投影レンズの実施例3のレンズ断面図である。

【図4】本発明の縮小投影レンズの実施例4のレンズ断面図である。

【図5】実施例1の横収差図である。

【図6】実施例2の横収差図である。

【図7】実施例3の横収差図である。

【図8】実施例4の横収差図である。

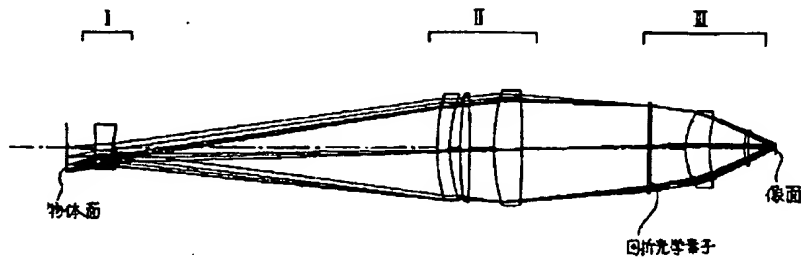
【符号の説明】

I …第1レンズ群

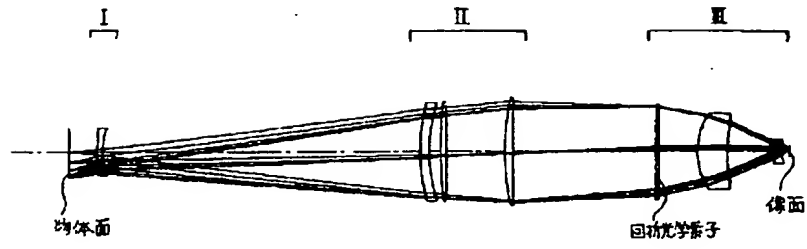
II …第2レンズ群

III …第3レンズ群

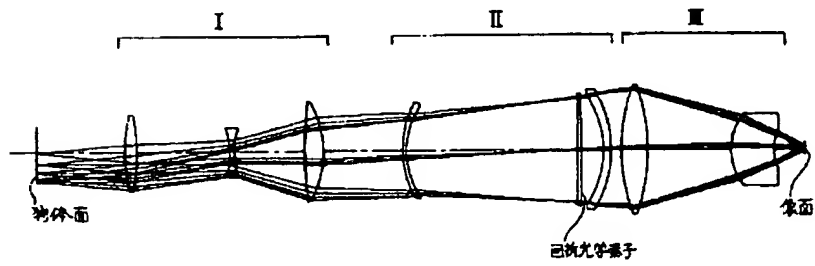
【図1】



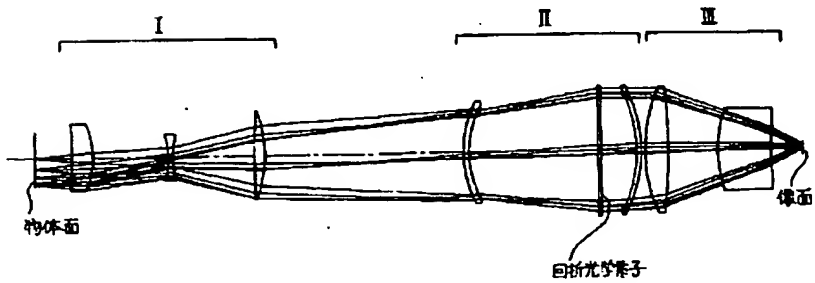
【図2】



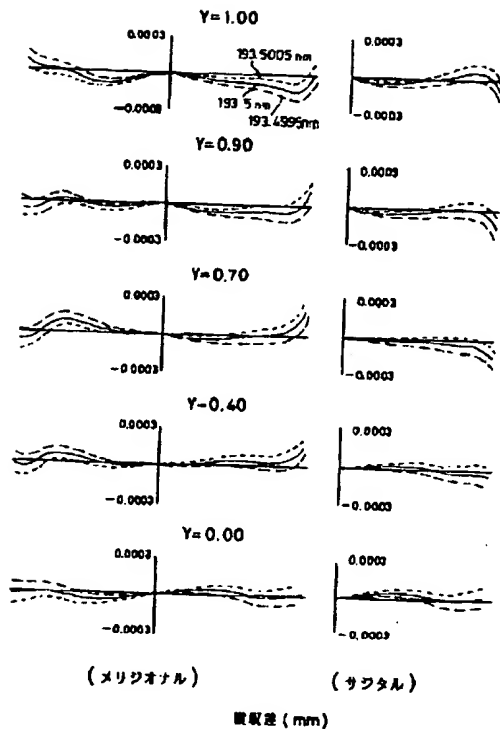
【図3】



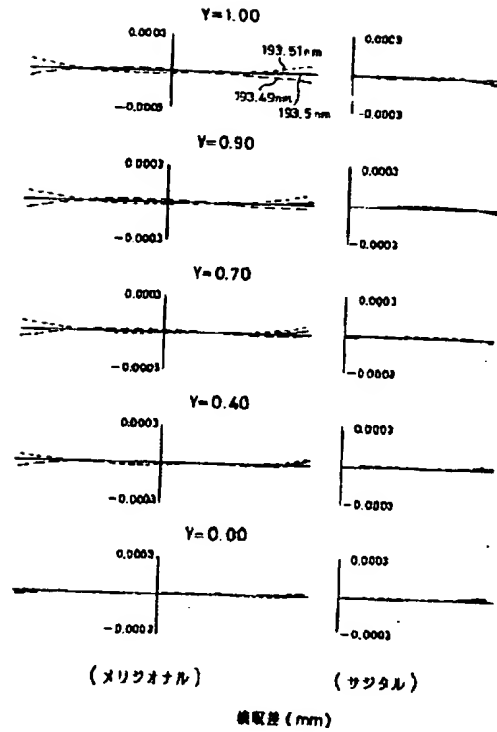
【図4】



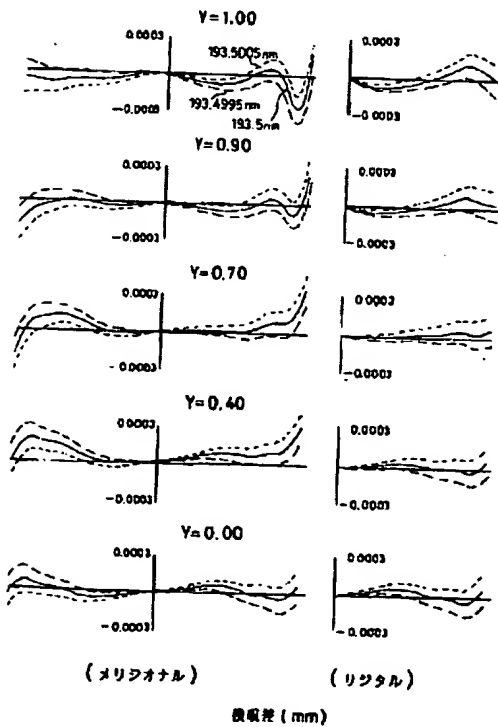
【図5】



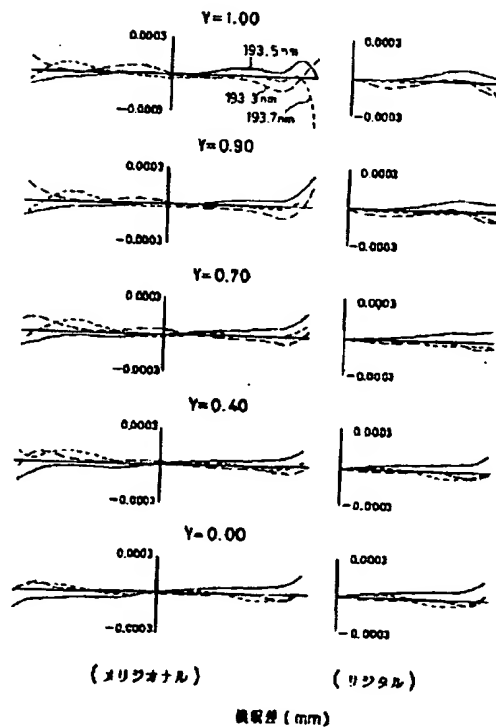
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

H01L 21/027

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所